

(11)Publication number : 2002-015010

(43)Date of publication of application : 18.01.2002

(51)Int.Cl.

G06F 17/50
B60C 19/00

(21)Application number : 2000-196488

(71)Applicant : YOKOHAMA RUBBER CO LTD:THE

(22)Date of filing : 29.06.2000

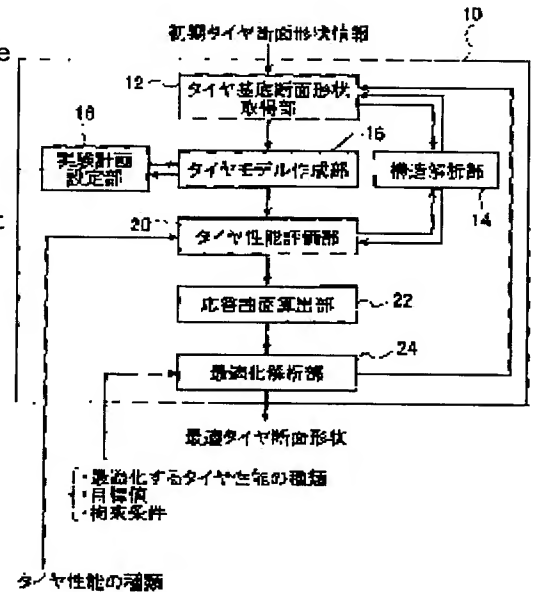
(72)Inventor : OKANO TOSHIHIKO
KOISHI MASATAKA

(54) METHOD FOR DESIGNING PRODUCT FORM AND PNEUMATIC TIRE DESIGNED WITH IT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a tire with an optimized cross section form and a product form design method applied to design the tire with the optimized cross section, which specifies a wide design scope with few design variables and attains efficiently the optimized product form with an optimal product performance when a product form is designed depending on an evaluation value of the product performance.

SOLUTION: The method defines a plurality of basic forms of the product form as deformation forms of the specified mode of the product form, generates a plurality of sample product forms by combining linearly the basic forms on the basis of the design of experiments, calculates the evaluation value of the product performance of the sample product forms, and solves a problem of the optimized product form design by extracting the optimized product form, the evaluation value of which is optimal, based upon the evaluation value of the product performance.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2002-15010
(P2002-15010A)

(43)公開日 平成14年1月18日(2002.1.18)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード(参考)
G 0 6 F 17/50	6 0 4	G 0 6 F 17/50	6 0 4 A 5 B 0 4 6
	6 8 0		6 8 0 Z
B 6 0 C 19/00		B 6 0 C 19/00	Z

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 13 頁)

(21)出願番号 特願2000-196488(P2000-196488)

(22)出願日 平成12年6月29日(2000.6.29)

(71)出願人 000006714

横浜ゴム株式会社

東京都港区新橋5丁目36番11号

(72)発明者 岡野 敏彦

神奈川県平塚市追分2番1号 横浜ゴム株式会社平塚製造所内

(72)発明者 小石 正隆

神奈川県平塚市追分2番1号 横浜ゴム株式会社平塚製造所内

(74)代理人 100080159

弁理士 渡辺 望穂 (外1名)

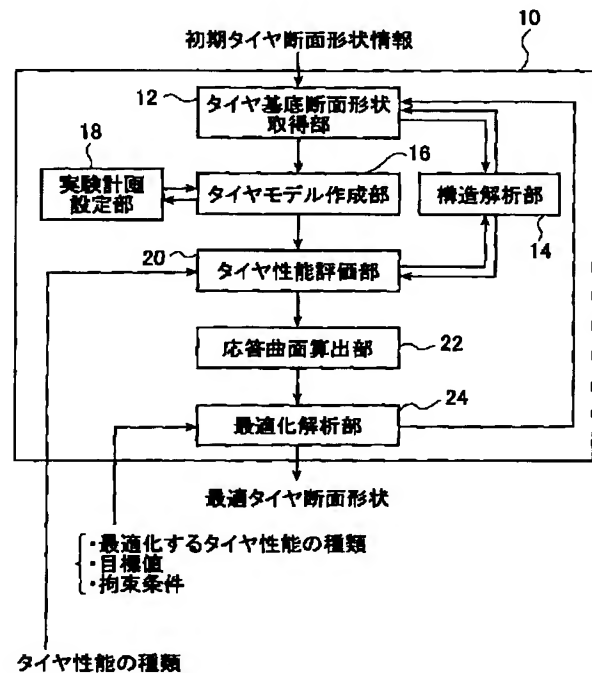
Fターム(参考) 5B046 JA08

(54)【発明の名称】 製品形状設計方法およびこれを用いて設計される空気入りタイヤ

(57)【要約】

【課題】製品形状を製品性能の評価値に基づいて最適に設計する際、少ない設計変数で広い設計範囲を規定して、製品性能を最適にする最適製品形状を効率よく求める製品形状設計方法、およびこれをタイヤ断面形状に適用して得られた最適タイヤ断面形状を有するタイヤを提供する。

【解決手段】製品形状の複数の基底形状を製品形状の固有モードの変形形状とし、この基底形状を実験計画法に基づき線型的に組み合わせて複数のサンプル製品形状を生成し、この生成されたサンプル製品形状の製品性能の評価値を求め、この製品性能の評価値に基づき、評価値が最適値となる最適製品形状を抽出することによって前記課題を解決する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】最適製品形状を設計する製品形状設計方法であって、

製品形状の複数の基底形状を設定して、この基底形状を線型的に組み合わせて複数のサンプル製品形状を生成する形状生成過程と、

この形状生成過程によって生成された前記サンプル製品形状の製品性能の評価値を求める性能評価過程と、

この性能評価過程で求められた製品性能の評価値に基づき、評価値が最適値となる最適製品形状を抽出する製品形状抽出過程とを含むことを特徴とする製品形状設計方法。

【請求項2】前記形状生成過程は、前記基底形状に重み付けを行なう重み付け係数を用いて線型的に組み合わせることで前記サンプル製品形状を生成する請求項1に記載の製品形状設計方法。

【請求項3】前記形状生成過程は、実験計画法に基づいて前記重み付け係数の値を設定する請求項2に記載の製品形状設計方法。

【請求項4】前記性能評価過程は、製品性能の評価値を構造解析によって求め、

前記製品形状抽出過程は、製品性能を表す曲面近似関数を前記製品性能の評価値に基づいて求め、この曲面近似関数に基づいて最適製品形状を抽出する請求項1～3のいずれかに記載の製品形状設計方法。

【請求項5】前記曲面近似関数は、前記重み付け係数を設計変数とし、前記製品形状抽出過程は、この曲面近似関数に基づき製品性能の評価値が最適値となる重み付け係数を求めることによって最適製品形状を抽出する請求項4に記載の製品形状設計方法。

【請求項6】前記製品形状は、タイヤ加硫金型によって規定されるインモールドタイヤ断面形状、あるいは、タイヤデフレート時のタイヤ断面形状である請求項1～5のいずれかに記載の製品形状設計方法。

【請求項7】前記複数の基底形状は、タイヤ断面方向の複数の固有モードの変形形状である請求項6に記載の製品形状設計方法。

【請求項8】前記タイヤ固有モードは、1次以上5次以下のタイヤ断面方向の固有モードを含む請求項7に記載の製品形状設計方法。

【請求項9】タイヤ断面形状におけるタイヤ断面方向の1次、2次および3次の固有モードの正規化された変形形状をタイヤ基底断面形状とし、重み付け係数を用いてこのタイヤ基底断面形状を線型的に組み合わせて設計したタイヤ断面形状を有する空気入りタイヤであって、前記1次の固有モードにおける変形形状の前記重み付け係数は、+0.6以上+0.9以下であり、前記2次の固有モードにおける変形形状の前記重み付け係数は、-1.5以上-1.2以下であり、前記3次の固有モードにおける変形形状の前記重み付け

係数は、+1.2以上+1.5以下であることを特徴とする空気入りタイヤ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、製品性能の評価値に基づいて製品形状を最適に設計する製品形状設計方法に関し、特に、車両に用いられるタイヤの断面形状をタイヤ性能の評価値に基づいて最適設計を行うタイヤ断面形状の設計方法およびこの方法を用いて設計される空気入りタイヤに関する。

【0002】

【従来の技術】従来、構造体の構造や形状等の設計は、構造体を試作して実験を行うことによって性能評価を行い、また、構造体の構造解析モデルを作成し、有限要素法等をはじめとする種々の構造解析手法を用いて数値実験を行って性能評価を行い、その性能評価結果に基づいて、構造体や構造解析モデルの再試作・再作成を行う、いわゆる試行錯誤による設計探索が多かった。そのため、設計者の所望する最適な構造体を設計するには、多大の労力や多大の時間、さらには多大の試作コストを費やす必要があった。

【0003】この点、タイヤ製造業者においても同様であり、タイヤの設計は、試行錯誤による試作や数値実験により、多大な労力、時間およびコストを必要とした。特に、タイヤの回転軸を含む平面で切断した断面形状、すなわちタイヤ断面形状は、タイヤ性能に大きな影響を及ぼすため、所望のタイヤ性能を得るためには特に慎重に設計する必要があった。ところで、今日、スーパーコンピュータ等による数値計算の高速処理の向上により、最適な製品性能を得るための数値計算による最適設計手法が、種々提案されている。これによると、上記問題を解決し、効率よく最適設計を行うことができるとされている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかし、構造体であるタイヤは、タイヤ断面形状の規定方法の複雑さに起因して上記最適設計手法が十分に活かされないといった問題があった。例えば、図9(a)のA部に示すように、最適設計手法を用いて求められる最適タイヤ断面形状は一部分が屈曲する場合があり、このような断面形状を有するタイヤをタイヤ加硫金型(モールド)を用いて実際に製造することは非常に困難であり、最適設計により求められた最適タイヤ断面形状を実現することはできないといった問題があった。

【0005】一般に、タイヤ断面形状は、図9(b)に示すように、タイヤの内面形状やタイヤの中心部材として形成されるカーカス部材の配置形状やタイヤのトレッド部の外面形状やサイド部の外面表面が滑らかな形状によって規定されているが、最適タイヤ断面形状についても複数の円弧形状の連続によって規定され、しかもこれ

らの円弧形状が滑らかに接続されるように定義されることが必要である。そのため、上記最適設計手法をタイヤ断面形状に用いる場合、円弧形状が滑らかに接続されるように円弧形状を定める曲率半径、円弧中心位置および円弧長の数多くの設計変数を拘束する多くの拘束条件を設定しなければならない。しかし、この拘束条件を、最適タイヤ断面形状を求める際に汎用性を持ちつつ処理することは困難である。また、専用の処理ルーチンを設けなければならない、上記最適設計手法を効果的に用いることができないといった問題があった。

【0006】一方において、タイヤ断面形状を最適化する方法が、国際公開W099/075433に開示されている。これによると、タイヤ性能やタイヤの製造条件における拘束条件を考慮してタイヤ性能を表す目的関数を最適にするタイヤの設計変数（設計パラメータ）を求めることができるとされている。しかし、タイヤクラウン部の形状の最適化やサイド部の形状の最適化等、特定の部位に限定した断面形状の最適化に留まっており、断面形状全体といった広い設計範囲を効率的に最適化するには依然としていたっていない。このような問題は、形状を規定する設計変数が複雑な構造体の場合に同様に生じる問題である。

【0007】そこで、本発明は、上記問題点を解決すべく、製品形状を製品性能の評価値に基づいて最適に設計する際、少ない設計変数で広い設計範囲を規定して、製品性能を最適にする最適製品形状を効率よく求める製品形状設計方法、特に、タイヤ断面形状を少ない設計変数で広い設計範囲を規定して、タイヤ性能に応じた最適設計を効率よく行うタイヤ断面形状の設計方法を提供するとともに、この方法によって設定される空気入りタイヤを提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明は、最適製品形状を設計する製品形状設計方法であって、製品形状の複数の基底形状を設定して、この基底形状を線型的に組み合わせて複数のサンプル製品形状を生成する形状生成過程と、この形状生成過程によって生成された前記サンプル製品形状の製品性能の評価値を求める性能評価過程と、この性能評価過程で求められた製品性能の評価値に基づき、評価値が最適値となる最適製品形状を抽出する製品形状抽出過程とを含むことを特徴とする製品形状設計方法を提供するものである。ここで、製品形状とは、携帯電話等の電子部品やプラスチック成型品等の金型形状、建築構造物等に使用される構成部品の断面形状など、各種工業製品の形状を言い、製品性能とは、構造力学、流体力学、電気力学あるいは磁気力学によって評価される各種性能をいう。

【0009】ここで、前記形状生成過程は、前記基底形状に重み付けを行なう重み付け係数を用いて線型的に組み合わせることで前記サンプル製品形状を生成するのが

好ましく、前記形状生成過程は、実験計画法に基づいて前記重み付け係数の値を設定するのが好ましい。さらに、前記性能評価過程は、製品性能の評価値を構造解析によって求め、前記製品形状抽出過程は、製品性能を表す曲面近似関数を前記製品性能の評価値に基づいて求め、この曲面近似関数に基づいて最適製品形状を抽出するのがよい。また、前記曲面近似関数は、前記重み付け係数を設計変数とし、前記製品形状抽出過程は、この曲面近似関数に基づき製品性能の評価値が最適値となる重み付け係数を求めることによって最適製品形状を抽出するのがよい。

【0010】このような製品形状設計方法における製品形状は、タイヤ加硫金型によって規定されるインモールドタイヤ断面形状、すなわち、タイヤ加硫金型で加硫されて製造される際のタイヤ断面形状、あるいは、タイヤデフレート時、すなわち、タイヤをリムに装着しているが空気を充填していない状態のタイヤ断面形状であるのが好ましい。この場合、前記複数の基底形状は、タイヤ断面方向の複数の固有モードの変形形状であるのがよく、より好ましくは、このタイヤ固有モードは、1次以上5次以下のタイヤ断面方向の固有モードを含むのがよい。

【0011】また、本発明は、タイヤ断面形状におけるタイヤ断面方向の1次、2次および3次の固有モードの正規化された変形形状をタイヤ基底断面形状とし、重み付け係数を用いてこのタイヤ基底断面形状を線型的に組み合わせることで設計されたタイヤ断面形状を有する空気入りタイヤであって、前記1次の固有モードにおける変形形状の前記重み付け係数は、+0.6以上+0.9以下であり、前記2次の固有モードにおける変形形状の前記重み付け係数は、-1.5以上-1.2以下であり、前記3次の固有モードにおける変形形状の前記重み付け係数は、+1.2以上+1.5以下であることを特徴とする空気入りタイヤを提供するものである。

【0012】

【発明の実施の形態】以下、本発明の製品形状設計方法について、タイヤ断面形状を製品形状とする好適実施例を基に詳細に説明する。

【0013】図1は、本発明の製品形状設計方法の一実施例であるタイヤ断面形状の設計方法を行い、最適タイヤ断面形状を抽出する最適形状算出装置10の概略ブロック図を示す。この最適形状算出装置10は、初期タイヤ断面形状情報および拘束条件および最適化をするタイヤ性能の種類およびその評価値の目標値を入力することで最適タイヤ断面形状を抽出することができる装置であり、例えば、CPU、ROM、RAM、メモリ、入力装置および出力装置を備えるコンピュータによって構成され、ROMに記憶されたソフトウェアによってタイヤ断面形状の最適化が実施される装置であってもよいし、後述する構成部分の一部あるいは全部が回路等によってハ

ードウェア処理される専用装置で構成されてもよい。ここで、最適タイヤ断面形状とは、入力されたタイヤ性能における評価値が、設計変数の範囲において、最大、最小となり、また入力された目標値と一致あるいはそれに近くなるタイヤ断面形状をいう。

【0014】最適形状算出装置10は、タイヤ基底形状取得部12、構造解析部14、タイヤモデル作成部16、実験計画設定部18、タイヤ性能評価部20、応答局面算出部22および最適化解析部24とを主に有して構成される。ここで、構造解析部14で行われる構造解析は、公知の有限要素法(FEM)等の構造解析手法によって行なわれてタイヤ性能の予測が行われる。従って、タイヤモデル作成部16で作成されるタイヤ断面形状のモデルは、FEMモデル等の構造解析モデルである。ここで、タイヤ断面形状は、タイヤ加硫金型によって規定されるインモールドタイヤ断面形状、あるいは、タイヤデフレート時のタイヤ断面形状である。すなわち、最適形状算出装置10によって抽出される最適タイヤ断面形状は、タイヤ加硫金型によって規定されるインモールドタイヤ断面形状、または、タイヤデフレート時のタイヤ断面形状であるので、タイヤ加硫金型を容易に作ることができ、最適タイヤ断面形状を有するタイヤを効率よく製造することができる。

【0015】タイヤ基底断面形状取得部12は、初期タイヤ断面形状情報から、後述する直交表作成の際の因子となる複数のタイヤ基底断面形状を取得する部分である。すなわち、タイヤ基底断面形状取得部12は、初期タイヤ断面形状情報から剛性マトリクスKを求め、この剛性マトリクスKを構造解析部14に送るとともに、構造解析部14で算出されたタイヤ断面方向の断面1次、2次および3次等の固有モードの変形形状をタイヤ基底断面形状とするように構成される。すなわち、タイヤ基底形状取得部12は、初期タイヤ断面形状の断面固有モードの変形形状をタイヤ基底断面形状とすることを特徴としている。得られたタイヤ基底断面形状はタイヤモデル作成部16に送られる。ここで、初期タイヤ断面形状情報とは、最適化を図りたい所望のタイヤのベルト部材、カーカス部材、トレッド部材、サイド部材、スティフナー部材やビード部材等のタイヤ構成部材の配置位置を定める位置座標を含む、各タイヤ構成部材毎にメッシュ状に要素分割を行って得られるノード座標と、各タイヤ構成部材に対応したヤング率やポアソン比等の材料定数の値とを有し、これらの情報から剛性マトリクスKを生成することができる入力情報である。

【0016】本実施例におけるタイヤ基底断面形状は、1次以上5次以下の固有モードの変形形状であればいずれであってもよいが、好ましくは、1次、2次および3次の固有モードの変形形状であるのがよい。

【0017】構造解析部14は、タイヤ基底形状取得部12やタイヤ性能評価部20より送られる剛性マトリク

スKに基づいて公知のFEM等により固有値解析や構造解析を行う部分である。固有値解析では、固有ベクトルを求めてタイヤ基底断面形状を求め、構造解析では、図示されない入力装置から入力された、あるいは予め設定されたタイヤ性能の評価値、例えば固有振動数、縦ばね定数、横ばね定数、前後ばね定数、転がり抵抗係数、ベルト間の所定位置における層間剪断歪みやスティフナー部材の所定位置における応力分布や応力歪み、さらには、タイヤが地面に接地して負荷荷重を受けて撓んでいる際の圧力等を数値計算によって求める。

【0018】タイヤモデル作成部16は、タイヤ基底断面形状取得部12で求められたタイヤ基底断面形状を正規化し、この正規化されたタイヤ基底断面形状を線型的に組み合わせて複数のサンプルタイヤ断面形状の構造解析モデルを生成し、剛性マトリクスKを作成する部分である。詳細は、後述する。なお、タイヤ基底断面形状を線型的に組み合わせてサンプルタイヤ断面形状を生成する際、重み付け係数が用いられるが、この重み付け係数の値は、実験計画設定部18で設定される実験計画法における水準の割り付けの対象とされる。作成された剛性マトリクスKは、タイヤ性能評価部20に送られる。

【0019】タイヤ性能評価部20は、構造解析部14で算出するための複数のタイヤ性能の種類を図示されない入力装置を介して設定し、この指定されたタイヤ性能の種類とタイヤモデル作成部16で作成された剛性マトリクスKとを構造解析部14に送るとともに、構造解析部14で数値計算されたタイヤ性能の評価値を受け取り、さらに、タイヤ断面形状として規定される寸法、例えばタイヤ最大幅SWやタイヤの外径ODや、タイヤ重量WTをタイヤ性能の評価値として求める部分である。タイヤ性能の種類は、図示されない入力装置を介して設定されるが、予め設定されたタイヤ性能であってもよい。

【0020】応答局面算出部22は、実験計画法によって作成された複数のサンプルタイヤ断面形状に基づいたタイヤ性能の評価値に基づいて、タイヤ基底断面形状を線型的に組み合わせる際に用いた重み付け係数を設計変数として、タイヤ断面形状の設計空間を曲面近似関数を用いて規定する部分である。すなわち、タイヤ基底断面形状を線型的に組み合わせる際に用いる重み付け係数を設計変数として、タイヤ性能の評価値を曲面近似関数を用いて表す。ここで、曲面近似関数は、チェビシェフの直交多項式やn次多項式等が挙げられる。タイヤ性能を規定した曲面近似関数は、最適化解析部24に送られる。

【0021】最適化解析部24は、最適な評価値を得たいタイヤ性能の種類およびその評価値の目標値が図示されない入力装置を介して入力されるときに、最適な評価値を求める際にタイヤ性能に一定の条件を課す拘束条件が入力された後、この最適な評価値を得たいタイヤ性

能を表す曲面近似関数を、上記拘束条件を考慮しながら、タイヤ性能の最適な評価値、たとえば、タイヤの一次固有振動数の最小値や、縦ばね定数、横ばね定数、前後ばね定数の最大値や、目標値と一致あるいは最も近似される評価値等を求め、さらに、曲面近似関数が最適な評価値を実現する設計変数を抽出する部分である。上記例は、所望のタイヤ性能の評価値を最適にする例であるが、複数のタイヤ性能を統合して1つにまとめたタイヤ性能の評価値、すなわちタイヤ性能の評価値を加減乗除してまとめられた評価値を最適化するものであってもよい。ここで、曲面近似関数に用いられる設計変数は、上述したようにタイヤ基底断面形状を線型的に組み合わせる際に用いる重み付け係数であるので、最適な評価値を達成する重み付け係数を抽出することで、タイヤ基底断面形状を線型的に組み合わせることで最適なタイヤ性能を実現する最適タイヤ断面形状を容易に抽出することができる。得られた最適タイヤ断面形状は、最適形状算出装置10の出力として、図示されないタイヤ加硫金型作成CADシステム等に図示されない出力装置を介して送られる。あるいは、タイヤデフレート時のタイヤ断面形状情報として、ハードディスクや記録メディア等に図示されない出力装置を介して記録される。また、最適な評価値が得られない場合、得られた最適タイヤ断面形状の情報をタイヤ基底断面形状取得部12に差し戻し、この最適タイヤ断面形状の情報を初期タイヤ断面形状情報として、再度最適タイヤ断面形状を求めてもよい。

【0022】次に、本発明の製品形状設計方法について、図2(a)の流れを概説する。まず、初期製品形状情報が最初に入力設定され(ステップ100)、この製品形状に基づく複数の基底形状が設定される。さらに、この基底形状に基づいてサンプル製品形状が生成され、応答曲面法に従って処理が行なわれる(ステップ102)。ここで応答曲面法とは、実験計画法に従って実験計画され(ステップ104)、この実験計画された製品形状についてFEM等による構造解析が行なわれ(ステップ106)、製品の設計空間を近似する解析手法である。すなわち、基底形状を実験計画法に従って線型的に組み合わせる複数のサンプル製品形状が生成され、この生成されたサンプル製品形状の製品性能の評価値がFEM等の構造解析を用いて求められ、この複数のサンプル製品形状を構成する基底形状の水準と、構造解析によって求められた評価値とから、非線形関数によって表される複雑な製品の設計空間が、直交多項式等の曲面近似関数を用いて表される。その後、製品性能を設計変数で表す上記曲面近似関数が用いられ、設計変数を逐次変更しながら評価値が求められ、最適評価値が得られたか判断する(ステップ108)。最適評価値が得られたと判断された場合は、設計変数に基づいて最終の最適タイヤ断面形状が抽出され(ステップ110)、最適評価値が得られないと判断された場合、設計変数が変更されて修

正され(ステップ112)、上記曲面近似関数の評価値が求められる。このようにして、最適値が得られるまで、繰り返し数値計算が行われる。

【0023】一方、従来の構造解析による最適製品形状を求める方法は、初期製品形状情報を設定入力し(ステップ150)、構造解析を行い(ステップ152)、製品性能の評価値を行い、評価値が最適評価値となっているかどうか判断する(ステップ154)。最適評価値となっていると判断された場合、この製品形状が設計変数に基づいて最適製品形状が抽出される(ステップ156)。最適評価値でないと判断された場合、タイヤ断面形状の設計変数の修正が行なわれ(ステップ158)、再度構造解析が行なわれ、タイヤ性能の評価値が求められる。このようにして、最適値が得られるまで、繰り返し数値計算が行われる。

【0024】このように、本発明は実験計画法および構造解析を用いて求められた応答曲面近似関数に基づき最適な評価値を求めるため、従来のように、修正された製品形状に基づいて再度構造解析を行なう必要はなく、最適計算の計算時間が短縮される。

【0025】このような本発明の製品形状設計方法の流れを、最適形状算出装置10を用いたタイヤ断面形状の設計方法に従って、図2および図3に基づき詳細に説明する。図3には、図2に示されるステップ100からステップ108までの流れを細かく示している。まず、初期タイヤ断面形状情報が入力設定される(ステップ100)。初期タイヤ断面形状情報は、上述したように、最適化を図りたい所望のタイヤの構成部材の配置位置を定める位置座標を含み、各タイヤ構成部材毎にメッシュ状に要素分割を行ったノード座標と、このFEMモデルの各タイヤ構成部材に対応したヤング率やポアソン比等の材料定数の値とを含む入力情報である。タイヤ基底断面形状取得部12において、この入力情報より構造解析に用いられる剛性マトリクスKが作成され、作成された剛性マトリクスKは、構造解析部14に送られて固有値解析が行なわれる。固有値解析の結果、タイヤ断面方向の断面1次、2次および3次等の固有モードの変形形状が固有ベクトルとして求められ、この断面1次、2次および3次等の固有モードの変形形状が正規化される。正規化は、固有ベクトルの長さを1に揃えるものでも、最大変位を1とするものであってもいづれでもよい。

【0026】このような断面1次、2次および3次の固有モードの変形形状の例が図4(a)~(c)に示されている。図4(a)~(c)では、乗用車用タイヤの断面形状の半分すなわちタイヤセンターラインから右半分が図示されている。図中、初期タイヤ断面形状は黒く表わされ、断面1次、2次および3次の固有モードの変形形状は白く書き表わされて重ね書きされている。重なっている部分は固有モードの変形形状が優先して表示されている。図4(a)の断面1次固有モードの変形形状

10

20

30

40

50

は、トレッド部からショルダー部にかけた領域Aとサイド部の領域Bにおいて、初期タイヤ断面形状と差が生じ、変形が大きくなっていることがわかる。一方図4

(b)の断面2次固有モードの変形形状は、トレッド部の領域Cとパットレス部の領域Dとサイド部からステイフナー部にかけての領域Eにおいて初期タイヤ断面形状と差が生じ、変形が大きくなっていることがわかる。図4(c)の断面3次固有モードの変形形状では、領域F、GおよびHで初期タイヤ断面形状と差が生じ、変形が大きくなっていることがわかる。本実施例では、この

ような固有モードの変形形状がタイヤ基底断面形状として設定される(ステップ106a)。
【0027】本実施例では、タイヤ基底断面形状として、断面1次、2次および3次の固有モードの変形形状を採用しているが、本発明においては、断面1次、2次および3次の固有モードの変形形状に限定されず、断面1～5次の固有モードの変形形状の中から設定されるものであればよい。6次以上の高次の固有モードの変形形状は局所的に屈曲した変形形状が多くなり、このような形状を断面形状に持つタイヤを設計し製造することは困難となるからである。また、本発明においてタイヤ基底断面形状として、断面1～5次の固有モードの変形形状を必ずしも採用する必要はなく、既存のタイヤ断面形状を採用してもよい。この場合、タイヤ基底断面形状と初期タイヤ断面形状との差異が、図4(a)～(c)のように、タイヤ基底断面形状間で異なっているのが好ましい。また、タイヤ基底断面形状は、3つである必要はなく、以降で述べる実験計画に応じて複数個設定すればよい。なお、本実施例では、4因子3水準のL₃直交表を用いるため、タイヤ基底断面形状は3つ設定される。

【0028】次に、タイヤモデル作成部16において、断面1次、2次および3次の固有モードの変形形状を用いて、実験計画法による直交表に基づいたサンプルタイヤ断面形状が生成される(ステップ104a)。すなわち、ステップ104aは、複数の基底形状を線型的に組み合わせる複数のサンプル製品形状を生成する本発明の*

表 1

	W ₁	W ₂	W ₃
No.1	-1.5	-1.5	-1.5
No.2	-1.5	0	0
No.3	-1.5	+1.5	+1.5
No.4	0	-1.5	0
No.5	0	0	+1.5
No.6	0	+1.5	-1.5
No.7	+1.5	-1.5	+1.5
No.8	+1.5	0	-1.5
No.9	+1.5	+1.5	0

【0032】こうして生成される9個のサンプルタイヤ 50 断面形状の例が図5に示されている。例えばNo. 1の

* 形状生成過程に該当する。

【0029】具体的には、断面1次、2次および3次の固有モードの変形形状をL₃(3₄)の直交表における4因子のうちの3因子とし、残り1因子を誤差因子とする。また、L₃(3₄)の直交表における水準については、断面1次、2次および3次の固有モードの変形形状を構造解析モデルのノード座標で表したベクトルをX_i

(i=1、2または3)とし、初期タイヤ断面形状を構造解析モデルのノード座標で表したベクトルをX₀とした場合、ベクトルX_iに重み付けを行う重み付け係数であって、下記式(1)で示すように、ベクトルX_iとベクトルX₀との差分に対する重み付け係数W_i(i=1、2または3)によって定義される。また、L₃(3₄)の直交表で生成される9個のタイヤ断面形状は、式(1)で示すように、構造解析モデルのノード座標のベクトルX_sで表される。すなわち、表1で示すように、重み付け係数W₁、W₂およびW₃の値を-1.5、0および+1.5とする3水準によってNo. 1～No. 9の9個のサンプルタイヤ断面形状を生成する。ここで、重み付け係数W₁、W₂およびW₃の値の設定範囲は、いずれも、-1.5以上+1.5以下であり、-1.5より小さくまたは+1.5より大きくすると、タイヤ製造上、加硫故障などの不具合が生じるタイヤ断面形状となってしまうからである。

【数1】

$$X_s = X_0 + \sum_{i=1}^3 W_i \cdot (X_i - X_0) \quad (1)$$

【0030】このように、タイヤ基底断面形状を線型的に組み合わせるタイヤ断面形状を定義するので、最適タイヤ断面形状は、図9(a)に示すようにタイヤ断面形状が局所的に屈曲する形状とならず、タイヤ断面形状が滑らかに表され、最適タイヤ断面形状を持つタイヤを容易に製造することができる。

【0031】

【表1】

タイヤ断面形状は、表1のNo. 1の行に示されるように、重み付け係数 W_1 を-1.5、重み付け係数 W_2 を-1.5、重み付け係数 W_3 を-1.5として式(1)に従ってノード座標が表されるタイヤ断面形状である。No. 7のタイヤ断面形状は、重み付け係数 W_1 を+1.5、重み付け係数 W_2 を-1.5、重み付け係数 W_3 を+1.5とすることによって生成される。No. 1のタイヤ断面形状とNo. 7のタイヤ断面形状を比較すると、サイド部の凸形状の形が異なり、No. 7は、No. 1に比べて、凸形状の位置が下にあることがわかる。

【0033】本実施例では、 $L_{(3)}$ の直交表を用いたが、本発明においてはこれに限定されず、 $L_{(3)}$ や $L_{(3)}$ や $L_{(3)}$ 等種々の直交表を用いることができる。少なくとも直交表を用いることで、より少ないサンプルタイヤ断面形状のタイヤ性能評価により効率よく応答曲面法の曲面近似関数を得ることができる。なお、本発明においては、直交表を用いてタイヤ断面形状を生成する場合に限定されず、2元配置や多元配置等の公知の実験計画法に基づきサンプルタイヤ断面形状を生成してもよい。

【0034】このようなNo. 1～No. 9のサンプルタイヤ断面形状について、構造解析部14において、FEM等による構造解析が行われ、タイヤ性能評価部20*

評価値 = b_{000}

$$\begin{aligned} & + b_{000} \cdot (W_1 - \bar{W}_1) + b_{010} \cdot (W_2 - \bar{W}_2) + b_{001} \cdot (W_3 - \bar{W}_3) \\ & + b_{200} \cdot [(W_1 - \bar{W}_1)^2 - \frac{a_1^2 - 1}{12} h_1^2] \\ & + b_{020} \cdot [(W_2 - \bar{W}_2)^2 - \frac{a_2^2 - 1}{12} h_2^2] \\ & + b_{002} \cdot [(W_3 - \bar{W}_3)^2 - \frac{a_3^2 - 1}{12} h_3^2] \end{aligned} \quad (2)$$

尚、 $\bar{W}_i (i=1,2,3)$ は W_i の平均値、
 $a_i (i=1,2,3)$ は水準数、
 $h_i (i=1,2,3)$ は水準間隔である。

【0036】式(2)で示されるチェビシェフの直交多項式では、重み付け係数 W_1 や W_2 や W_3 の交互作用に当たる $W_1 \cdot W_2$ や $W_2 \cdot W_3$ や $W_3 \cdot W_1$ が表されていないが、その理由は、後述するように、重み付け係数 W_1 や W_2 や W_3 の交互作用を考慮しなくてもよいからである。なお、本発明においては、チェビシェフの直交多項式に限定されず、高次多項式等公知の関数で表されるものでもよい。この場合、関数を定める係数等のパラメータの値が、サンプルタイヤ断面形状の数および直交表等における水準数によって一義的に決定されるように、サンプルタイヤ断面形状の数および直交表等における水準数に応じて関数は適宜選択される。

【0037】曲面近似関数は、タイヤ性能の評価値を回

※において、タイヤ性能の評価値が得られる(ステップ106b)。すなわち、ステップ106bは、ステップ104aで生成された複数のサンプルタイヤ断面形状の製品性能の評価値を求める過程で、本発明における性能評価過程に該当する。具体的には、タイヤの固有振動数や、縦ばね定数や、横ばね定数や、前後ばね定数や、転がり抵抗係数や、タイヤのベルト部材に働くベルト張力や、タイヤを地面に押し付けた際のタイヤトレッド部に働く圧力分布等が、タイヤ断面形状に対応した剛性マトリクスKを用いて数値計算を行うことによって算出される。このような評価値が求められる複数のタイヤ性能の種類は、予め入力して指定されてもよいし、予め設定されるものであってもよい。また、タイヤ最大幅SWや、タイヤの外径ODや、タイヤ重量WTも求められタイヤ性能の評価値として加えられる。

【0035】次に、タイヤ性能の評価値を用いて、応答曲面算出部22において、応答曲面法における曲面近似関数が抽出される(ステップ102a)。曲面近似関数とは、上記重み付け係数 $W_i (i=1,2$ あるいは3)を設計変数としてステップ106bで求めたタイヤ性能の評価値を表す関数で、例えば、下記式(2)で示するようなチェビシェフの直交多項式が挙げられる。

【数2】

帰させ、曲面近似関数の係数等のパラメータの値を求めることによって得られる。例えばチェビシェフの直交多項式の場合、式(2)における b_{000} 、 b_{100} 、 b_{010} 、 b_{001} …の係数を重回帰することによってチェビシェフの直交多項式に基づいた曲面近似関数が得られる。重回帰の方法は公知の方法が用いられる。こうして求められた曲面近似関数は、上述した種々のタイヤ性能について求められる。

【0038】図6(a)～(f)には、一例として、タイヤ性能の評価値であるタイヤ最大幅SW、タイヤ外形OD、タイヤ重量WT、タイヤ横ばね定数KL、縦ばね定数KV、転がり抵抗係数RRC、タイヤ断面1次固有振動数 f_1 、タイヤ断面2次固有振動数 f_2 およびタイ

や断面2次固有振動数 f_2 とタイヤ断面1次固有振動数 f_1 との差が、図5に示されるNo. 1～9のサンプルタイヤ断面形状でどのように変化するか、曲面近似関数によって得られた近似線(図中、RSMと記された点線)と構造解析によって得られたタイヤ性能の評価値の評価線(図中、FEMと記された実線)とが記されている。なお、各グラフの縦軸のタイヤ性能の評価値は、指数で表されている。これによると、どのタイヤ性能の評価値においても近似線と評価線とがほぼ一致しており、曲面近似関数は、タイヤ性能の評価値を精度良く近似していることがわかる。

【0039】このように、式(2)を用いて得られる曲面近似関数は、上述したように重み付け係数 W_1 や W_2 や W_3 の交互作用を考慮せずに近似したものであるが、交互作用を含めなくてもタイヤ性能の評価値を精度良く近似している。この理由は、 L_3 (3)の直交表に割りつける際のタイヤ基底断面形状に、初期タイヤ断面形状の断面固有モードの変形形状を採用しているからであると考えられる。すなわち、初期タイヤ断面形状の断面固有モードの変形形状をタイヤ基底断面形状とすることによって、設計変数である重み付け係数 W_1 や W_2 や W_3 の交互作用を考慮しなくても精度良く応答曲面を近似することができる。

【0040】次に、図示されない入力装置から指定された最適評価値を得たいタイヤ性能の曲面近似関数を用いて、指定された拘束条件の下に、タイヤ性能の曲面近似関数の評価値を最適化する重み付け係数 W_1 や W_2 や W_3 を求める(ステップ108)。すなわち、ステップ108は上記したステップ102aとともに、製品性能の評価値に基づき、評価値が指定された目標値に対して最適となる最適製品形状を抽出する本発明における製品形状抽出過程に該当する。

【0041】ここで、最適化したいタイヤ性能の種類は、特に限定されず、FEM等の構造解析によって評価値が求まるものであればいずれであってもよい。例えば、横ばね定数KLを、拘束条件なしに最大にしたい場合、横ばね定数KLの評価値を表す曲面近似関数を最大値とする重み付け係数 W_1 や W_2 や W_3 を求める。また、転がり抵抗係数RRCを初期タイヤ断面形状の転がり抵抗係数と同等あるいはそれ以下とする拘束条件の下、横ばね定数KLを最大にしたい場合、転がり抵抗係数RRCの拘束条件で定まる重み付け係数 W_1 や W_2 や W_3 の範囲の中で横ばね定数KLの評価値を表す曲面近似関数を最大値とする重み付け係数 W_1 や W_2 や W_3 を求める。拘束条件下の重み付け係数 W_1 や W_2 や W_3 の抽出は、重み付け係数 W_1 や W_2 や W_3 の値を逐次変更しながら求める(ステップ112)が、逐次変更する方法は、公知の手法を用いればよい。少なくとも本実施例においては、曲面近似関数が2次多項式によって表されるので、最適評価値を得る重み付け係数 W_1 や W_2 や W_3

の値を容易に求めることができる。

【0042】なお、上記実施例では、構造解析によって評価値が求まる単一のタイヤ性能であるが、複数のタイヤ性能の評価値を加減乗除して得られる値をタイヤ性能として最適化を図ってもよいし、さらには、拘束条件についても複数のタイヤ性能の評価値を加減乗除したものをを用いてもよい。

【0043】求められた重み付け係数 W_1 や W_2 や W_3 の値は、式(1)に示すタイヤ基底断面形状と初期タイヤ断面形状の差分の重み付けの値であるので、式(1)を用いることで最適タイヤ断面形状、すなわち、構造解析モデルにおけるノード座標のベクトルを得ることができる。このようにして最適タイヤ断面形状は抽出され出力される(ステップ110)。また、最適タイヤ断面形状のタイヤ性能の評価値が十分でない場合、例えば、最大化を図りたい横ばね定数の絶対値が十分に大きくなり等の場合、最適タイヤ断面形状を初期タイヤ断面形状としてステップ100に差し戻してもよい。

【0044】図7(a)～(d)には、乗用車用タイヤの指定したタイヤ性能に基づいてタイヤ断面形状を最適化した際の最適な評価値が記されている。図中の「REG」は、過去に設計されたタイヤの一例であり、「LW」は、そのタイヤ重量WTを軽量化するために、設計者が従来の方法(試行錯誤による方法)により考案した軽量化のためのタイヤ断面形状を持つタイヤであり、「Opt01」は、「LW」のタイヤ断面形状を初期タイヤ断面形状として、横ばね定数KLを最大にしたタイヤ断面形状を持つタイヤである。図7(a)は、タイヤ性能として横ばね定数KLを、(b)は転がり抵抗係数RRCを、(c)は、断面1次固有振動数を、(d)は、断面2次固有振動数を表している。例えば、図7(a)を見ると、最軽量化した「LW」は、横ばね定数KLが極端に低下することがわかる。また、図7(b)では、最軽量化した「LW」よりも横ばね定数KLを最大化した「Opt01」の方が転がり抵抗係数RRCが小さくなっていることがわかる。また、「Opt01」は、「REG」に比べても転がり抵抗係数RRCが小さくなっている。

【0045】図8(a)には、図7(a)に示す「LW」の初期タイヤ断面形状が、図8(b)には、横ばね定数KLを最大にした最適タイヤ断面形状が記されている。図8(a)および(b)を比較すると明らかなように、サイド部の曲率が大きく変化していることがわかる。

【0046】図8(b)に示す最適タイヤ断面形状は、横ばね定数KLを最大にしているが、同時に転がり抵抗係数RRCが大きく低減しており、従来、転がり抵抗係数RRCを抑制しつつ横ばね定数KLを大きくすることは困難とされてきた点を克服している。すなわち、転がり抵抗係数RRCを抑制しつつ横ばね定数KLを最大に

する最適タイヤ断面形状が実現されている。本発明は、転がり抵抗性能を低減しつつ操縦安定性を向上するための最適タイヤ断面形状を有する空気入りタイヤを提供する。ここで、最適タイヤ断面形状として設計変数のとり得る範囲は、断面1次の固有モードの変形形状の重み付け係数 W_1 を+0.6以上+0.9以下、断面2次の固有モードの変形形状の重み付け係数 W_2 を-1.5以上-1.2以下、断面3次の固有モードの変形形状の重み付け係数 W_3 を+1.2以上+1.5以下とすることである。ここで、固有モードの変形形状は、最大変位を1として正規化されたものであり、初期タイヤ断面形状とは、図8(a)に示されるような自然平衡形状またはそれに近いタイヤ断面形状である。これに対し、本発明の最適タイヤ断面形状は、自然平衡形状またはそれに近いタイヤ断面形状の固有モードベクトルを線形結合することにより生成されるものである。なお、重み付け係数 W_*

表 2

W_1	W_2	W_3	KL	RRC	加硫故障
+0.25	-1.50	+1.50	98.0	101.8	無し
+0.75	-1.50	+1.50	100.0	100.0	無し
+1.20	-1.50	+1.50	98.0	98.5	無し
+0.75	-1.00	+1.50	97.8	97.2	無し
+0.75	-1.50	+1.50	100.0	100.0	無し
+0.75	-2.00	+1.50	—	—	有り
+0.75	-1.50	+1.00	98.0	98.1	無し
+0.75	-1.50	+1.50	100.0	100.0	無し
+0.75	-1.50	+2.00	—	—	有り

【0049】それによると、重み付け係数 W_1 は、+0.75より大きくてもまた小さくても、横ばね係数KLの評価値が小さくなり、操縦安定性能にとって好ましくない。一方、重み付け係数 W_1 は、大きいほうが転がり抵抗係数RRCは小さくなるが、横ばね係数KLの低下を抑制するために好ましいことではない。重み付け係数 W_2 は、大きい方が横ばね係数KLの評価値が大きくなり、操縦安定性能にとって好ましい方向であるが、重み付け係数 W_2 を大きくすると、図4(b)に示す領域Eのスティフナー部が大きく外側に張り出した形状になり、加硫時のブラダーがタイヤ内周面から均一に圧着されず加硫故障が発生する。そのため、重み付け係数 W_2 の値を大きくすることはできない。重み付け係数 W_3 は、+1.50より小さい場合、横ばね係数KLの評価値が小さくなり、操縦安定性能にとって好ましくない。一方、+1.50より大きいと、重み付け係数 W_2 と同様に加硫故障が発生する。なお、図中—は、加硫故

* W_1 、 W_2 および W_3 の値が正とは、図4に示される変形状態を正として定義される。

【0047】このようなタイヤ断面形状について、重み付け係数 W_1 、 W_2 および W_3 をそれぞれ+0.75、-1.50および+1.50とした例で説明する。表2は、重み付け係数 W_1 、 W_2 および W_3 のそれぞれの値+0.75、-1.50および+1.50とした時の横ばね定数KLおよび転がり抵抗係数RRCの評価値を100として、重み付け係数 W_1 、 W_2 および W_3 をそれぞれ+0.75、-1.50および+1.50を中心に变化させた場合の横ばね係数KLと転がり抵抗係数RRCの評価値の変化を示し、それとともに、実際にタイヤを製造する際の加硫故障の有無を示している。

【0048】

【表2】

障が発生するため、横ばね係数KLや転がり抵抗係数RRCを評価できないことを意味している。このように、転がり抵抗係数RRCと加硫故障を拘束条件として横ばね係数KLを最大にする最適タイヤ断面形状を求めることで、上記設計範囲が得られる。

【0050】このように、重み付け係数 W_1 、 W_2 および W_3 といった少ない設計変数で広いタイヤ断面形状の設計空間を定義できるタイヤ基底断面形状の利点とタイヤ性能の最適な評価値を効率的に探索する応答曲面法を組み合わせることで、効率的かつ効果的なタイヤ断面形状の最適設計が可能となる。

【0051】以上、本発明の製品形状設計方法およびこの方法を用いて得られた空気入りタイヤについて、詳細に説明したが、本発明は上記実施例に限定はされず、本発明の要旨を逸脱しない範囲において、各種の改良および変更を行ってもよいのはもちろんである。

【0052】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、本発明は製品形状の基底形状を線型的に組み合わせて、式(1)のように製品形状を定義するので、少ない設計変数で効率よく製品形状を表すことができ、また、最適製品形状は局所的に屈曲する形状とならず、製品形状が滑らかに表すことができる。また、製品の固有モードの変形形状を基底形状とすることによって、設計変数の交互作用を考慮しなくても精度良く応答曲面を近似することができる。さらに、少ない設計変数で広い設計空間を定義できる基底形状を用いる利点と製品性能の最適な評価値を効率的に探索する応答曲面法を組み合わせることで、効率的かつ効果的な製品形状の最適設計が可能となる。その結果、タイヤ断面形状において、転がり抵抗係数を抑制しつつ横ばね定数を大きくする滑らかな最適タイヤ断面形状を効率的かつ効果的に設計することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の製品形状設計方法を実施するタイヤ断面形状の最適形状算出装置の構成を示す概略ブロック図である。

【図2】 (a)は、本発明の製品形状設計方法の一例を示すフローチャートであり、(b)は、従来の製品形状設計方法のフローチャートである。

【図3】 図2(a)に示される製品形状設計方法をタイヤ断面形状に適用した際の要部の流れを示すフローチャートである。

【図4】 (a)～(c)は、本発明の製品形状設計方法をタイヤ断面形状に適用した際に設定されるタイヤ基*

* 底断面形状を説明する図である。

【図5】 本発明の製品形状設計方法をタイヤ断面形状に適用した際に生成されるサンプルタイヤ断面形状を説明する図である。

【図6】 (a)～(f)は、本発明の製品形状設計方法をタイヤ断面形状に適用した際のタイヤ性能の評価値と曲面近似関数によって求められた値との比較を示す図である。

【図7】 (a)～(d)は、本発明の製品形状設計方法をタイヤ断面形状に適用した際の最適なタイヤ性能の評価値を示す図である。

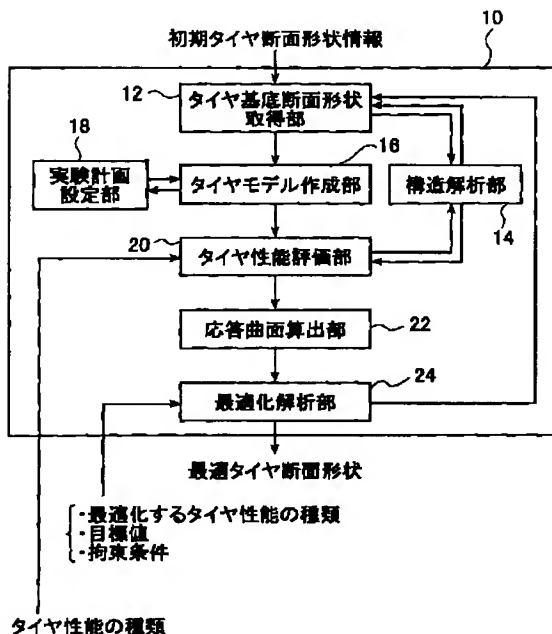
【図8】 (a)は、初期タイヤ断面形状を示す断面図であり、(b)は、最適タイヤ断面形状の一例を示す断面図である。

【図9】 (a)は、従来の製品形状設計方法で得られる最適タイヤ断面形状であり、(b)は、タイヤ断面形状を規定する設計変数を説明する図である。

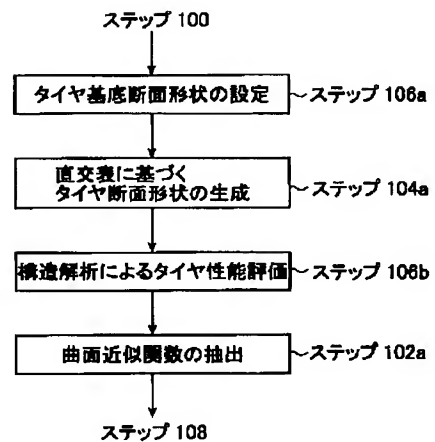
【符号の説明】

- 10 最適形状算出装置
- 12 タイヤ基底断面形状取得部
- 14 構造解析部
- 16 タイヤモデル作成部
- 18 実験計画設定部
- 20 タイヤ性能評価部
- 22 応答曲面算出部
- 24 最適化解析部

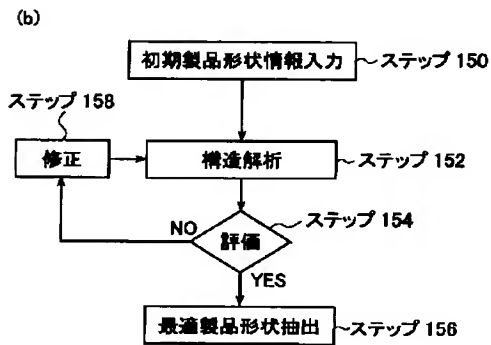
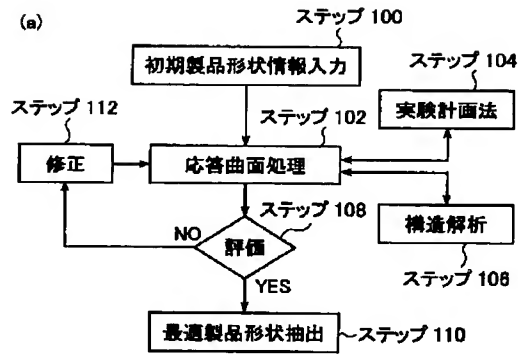
【図1】



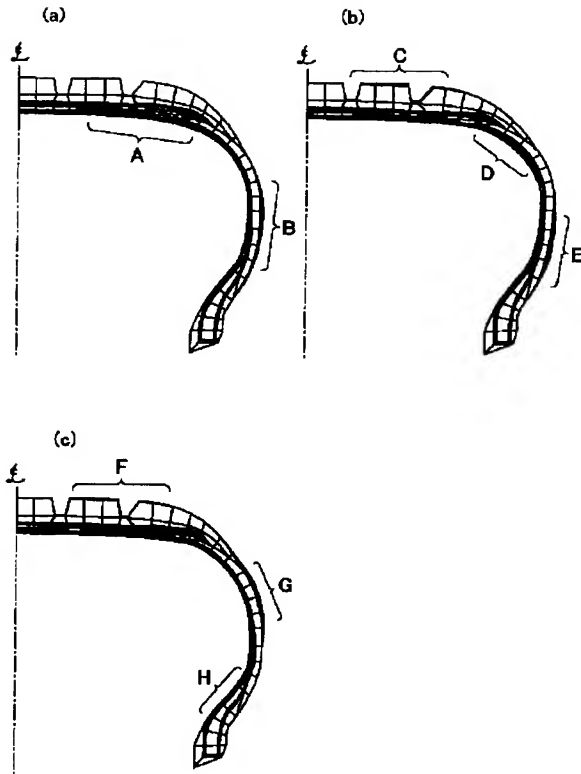
【図3】



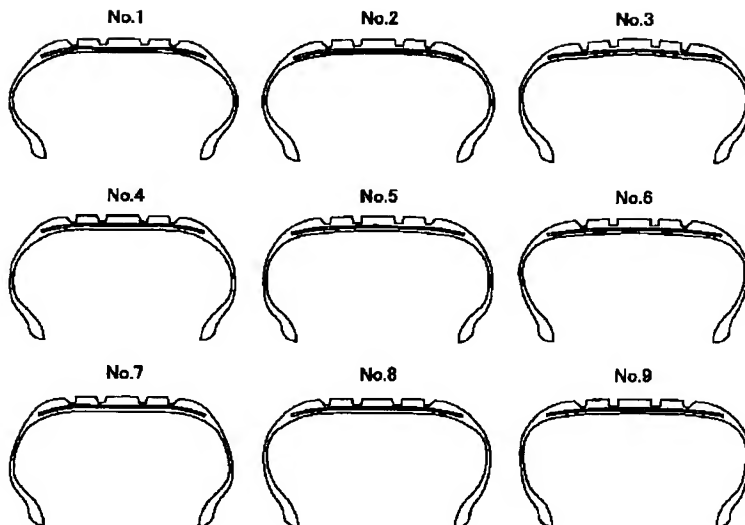
【図2】



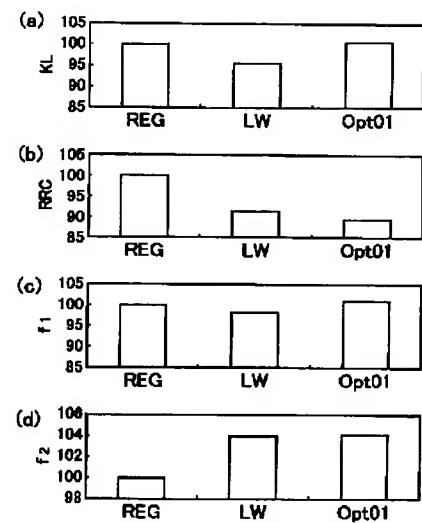
【図4】



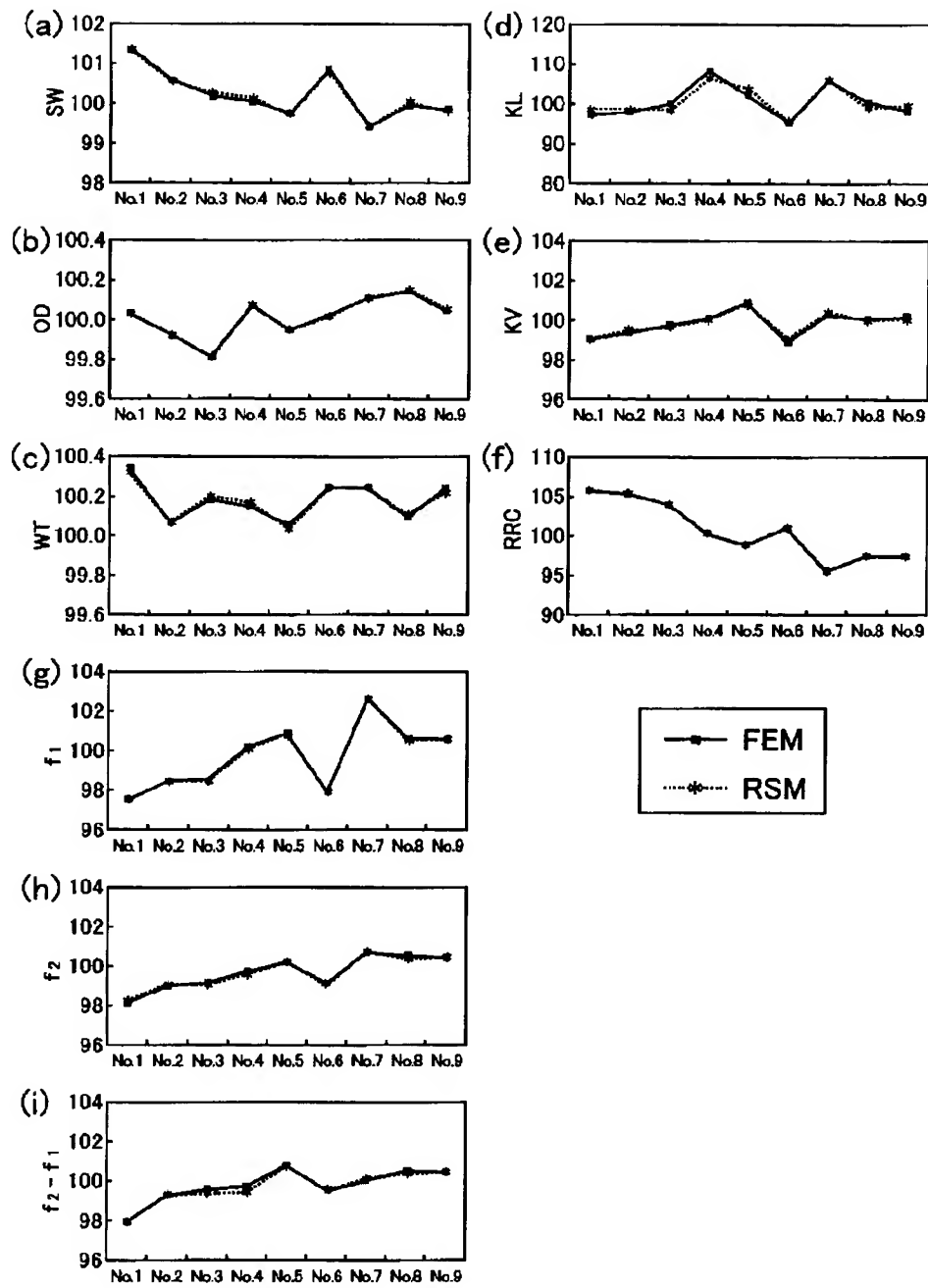
【図5】



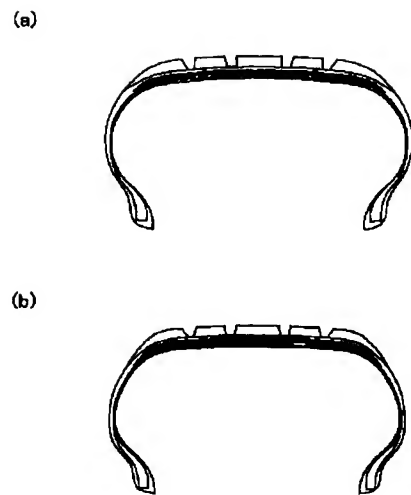
【図7】



【図6】



【図 8】



【図 9】

